

การพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น Development of Vibrating Subsoilers

ชญญา นิชมาภา^{1*} และ รัตนา การุญบุญญานันท์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

E-mail: fengtyn@ku.ac.th

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 E-mail: rattanakar@nu.ac.th

บทคัดย่อ - เครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นถูกใช้ไถดินชั้นดินล่างเพื่อไถทำลายชั้นดินดาน จัดเป็นเครื่องมือประเภท active tillage machinery บทความนี้เป็นการรวบรวมผลจากการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นและเครื่องมือไถดินชนิดสั่นที่นักวิจัยได้ทำการศึกษาในกระบะดินและแปลงทดลอง ซึ่งมีความก้าวหน้าทางวิชาการของการศึกษาทั้งทฤษฎีและการทดลอง นอกจากนี้ก็สามารถเรียนรู้ถึงการพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นที่ใช้ในแปลงเกษตรกรรม

คำสำคัญ - เครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น, เครื่องมือไถดินชนิดสั่น

Abstract - This paper aimed to review both the laboratory and the field-test researches on the vibrating subsoiler and the vibrating tillage tool. Especially, the vibrating subsoiler is categorized to be the active tillage implement and used for tilling the plow plan layer of soil. The academic progressions are represented in this paper, including the theory and the field test reports. The developments of the vibrating subsoilers used for the agricultural field are also reviewed.

Keywords - vibrating subsoiler, vibrating tillage tool

1. คำนำ

เครื่องมือไถพรวนดินมีความสำคัญและใช้งานเป็นลำดับแรกในแปลงเกษตรกรรม จุดมุ่งหมายเบื้องต้นทำให้ดินแตก ลดขนาดก้อนดิน ย่อยดินเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวดิน ทำให้ดินมีช่องว่างที่เหมาะสมเพื่อการเจริญเติบโตของพืช

จุดมุ่งหมายของการไถพรวนดิน [1] คือ

1. ลดการบดอัดตัวของดิน ลดแรงต้านทานการแทงทะลุของรากพืช เพิ่มการถ่ายเทอากาศในดิน และกระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน

2. พลิกกลับหน้าดินเพื่อควบคุมวัชพืช
3. ปรับพื้นผิวดินเพื่อทำให้การเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลเกษตรทำงานได้ดีขึ้น
4. ได้แปลงเพาะปลูกที่ดีสำหรับการหยอดเมล็ดหรือการปลูกด้วยต้นกล้า อีกทั้งทำให้ได้ขนาดก้อนดินเล็กลงง่ายต่อการซึมของน้ำ และกักเก็บปริมาณน้ำฝนได้ดี มีปริมาณอากาศที่เพียงพอในดิน ตลอดจนการหมุนเวียนของอากาศในดิน
5. เพื่อจัดการกับเศษต้นพืชที่หลงเหลือในแปลง ให้คลุกเคล้าลงในดินผ่านขบวนการไถพรวน เพื่อทำให้เศษต้นพืชย่อยสลายกลายเป็นวัสดุบำรุงดิน
6. เพื่อผสมปุ๋ยลงในดิน

ในการไถเตรียมดินเพื่อทำแปลงเพาะปลูกพืช ประกอบด้วย การไถครั้งแรก (primary tillage) และการไถครั้งที่สอง (secondary tillage) การไถครั้งแรกถือว่าการกระทำกับดินเริ่มแรก จุดมุ่งหมายเพื่อลดความแข็งแรงของดิน (soil strength) พลิกกลับหน้าดิน และการเคลื่อนย้ายเม็ดดิน (aggregate) การไถครั้งที่สองเป็นขบวนการย่อยดินทำให้ก้อนดินมีขนาดเล็กลง โดยจะทำภายหลังการไถครั้งแรก [1]

เครื่องมือประเภทไถที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องมือไถหัวหมู (moldboard plows) เครื่องมือไถจาน (disk plows) เครื่องมือไถสับ (chisel plows) และเครื่องมือไถดินดาน (subsoilers) เครื่องมือทั้งหมดนี้เป็นเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรก เครื่องมือประเภทพรวนดินที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องมือพรวนซี่ (spike-tooth harrows) เครื่องมือพรวนจาน (disk harrows) เครื่องมือเหล่านี้เป็นเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สอง ทั้งเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรกและเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สองเป็นเครื่องมือไถเตรียมดินที่ถูกลากจูงโดยรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง เรียกเครื่องมือเหล่านี้ว่า passive tillage machinery ในประเทศไทยที่สำรวจพบเขตอาเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี เกษตรกรปลูกข้าวโพดเป็นพืชหลัก เครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรก คือ ไถจานมาตรฐาน (standard disk plow) 3 จาน และเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สองเพื่อย่อยก้อนดิน คือ ไถจานแนวตั้ง (vertical disk plow) 7 จาน ต้นกำลังที่ใช้ คือ รถแทรกเตอร์ชนิด Category II ขนาด

60 – 75 hp (44.7 – 55.9kW) หรือเกษตรกรใช้ไถงานแนวตั้ง 5 งาน ไถย่อยดิน ต้นกำลังที่ใช้คือ รถแทรกเตอร์ชนิด Category I ขนาดประมาณ 20 – 30 hp (14.9 – 22.4kW) และที่สำรวจพบเขตอำเภอเมืองและอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม เกษตรกรปลูกพืชผัก เครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรก คือ ไถงานมาตรฐาน 3 งาน ต้นกำลังที่ใช้ คือ รถแทรกเตอร์ชนิด Category II และเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สอง คือ เครื่องมือไถจอบหมุน (rotary tiller) ต้นกำลังที่ใช้ คือ รถแทรกเตอร์ชนิด Category I ขนาด 35 – 45 hp (26.1 – 33.6kW) ส่วนเครื่องมือไถเตรียมดินที่ทำงานโดยอาศัยกำลังขับโดยตรงจากเครื่องยนต์ต้นกำลังของรถแทรกเตอร์ผ่านเพลาลำเลียง (PTO shaft) เป็นเครื่องมือประเภท active tillage machinery การใช้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานในพื้นที่เกษตรกรรมทุกปีมีผลทำให้เกิดชั้นดินอัดแน่น (soil compaction) การเกิดชั้นดินอัดแน่นเป็นผลเนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นรวมสภาพแห้งของดิน (soil dry bulk density) และการที่อนุภาคดินถูกทำให้บีบอัดติดกัน หรือการลดลงของค่าความพรุน (porosity) ในดิน การเกิดชั้นดินอัดแน่นนอกจากจะมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรกลเกษตรแล้ว ยังมีผลมาจากธรรมชาติอีกด้วย เป็นต้นว่าการตกกระแทกของเม็ดฝน การไหลซึมของน้ำบนผิวดินลงสู่ดินชั้นล่าง และแรงดึงของน้ำระหว่างอนุภาคดิน [2] นอกจากนี้ในดินชั้นถัดจากการไถพรวนเป็นประจำทุกปีจะเกิดชั้นดินดาน (hardpan) ปกติแล้วดินชั้นดินดานจะอยู่เหนือดินชั้นดินล่าง (subsoil) แต่อยู่ใต้ดินชั้นหน้าดินบน (top soil) โดยปกติแล้วเกษตรกรชาวนาดองการดินชั้นนี้ เขาจะไม่ไถทำลายดินชั้นดินดาน แต่เกษตรกรชาวไร่ไม่ต้องการดินชั้นดินดาน เขาจะพยายามไถทำลายดินชั้นนี้ ตามข้อกำหนดในประเทศญี่ปุ่น ดินชั้น hardpan หรือ plowpan layer มีค่าความแข็งของดินที่แสดงโดยค่า cone index เท่ากับ 392 – 686 kPa (4 – 7 kgf/cm²) [3] จากงานวิจัยของ Taylor et al., 1966 [4] พบว่ารากฝ้ายไม่สามารถแทงทะลุดินชั้น hardpan หนา 2.5 cm ในดินชนิดแตกต่างกัน เมื่อความต้านทานการแทงทะลุดิน (cone penetration resistance) เท่ากับ 2 MPa ด้วยเหตุผลดังกล่าว เกษตรกรผู้ปลูกพืชไร่ต้องไถทำลายดินชั้น hardpan เป็นประจำทุก 3 – 4 ปีครั้ง โดยใช้เครื่องมือไถดินดาน หรือเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น (vibrating subsoiler) ที่เขียนในบทความนี้เป็นเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นที่มีการวิจัยทั้งต่างประเทศและภายในประเทศ ตลอดจนเครื่องมือดังกล่าวก็มีจำหน่ายในประเทศไทย จุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือไถดินชนิดสั่น การศึกษาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น และเครื่องมือชนิดสั่น (vibrating tool) การพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น ตลอดจนการใช้เครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นในประเทศไทย

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือไถดินชนิดสั่น

1. แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Smith และคณะ [5]

ขณะเครื่องมือไถดินกำลังเคลื่อนที่ที่ความเร็วค่าใดค่าหนึ่ง และเวลาเดียวกันชิ้นส่วนประกอบขาไถกำลังสั่นไปมาบนโครงสร้างเครื่องมือ ทั้งนี้การสั่นของขาไถเป็นการเคลื่อนที่สั่นแบบฮาร์โมนิคธรรมดา (simple harmonic vibratory motion) เมื่อพิจารณาแรงปฏิกิริยากระทำระหว่างดินกับเครื่องมือ สามารถแสดงรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$F = F_0 + KV \quad \text{ที่ } X = X_0 \quad (1)$$

$$F = 0 \quad \text{ที่ } X < X_0$$

โดย

F : แรงกระทำของดินกับขาไถในเวลาขณะใดขณะหนึ่ง

F_0 : แรงกระทำของดินกับขาไถเมื่อความเร็วขาไถมีค่าเท่ากับศูนย์

K : ค่าความชันของเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรง และ ความเร็วขาไถ

X : ตำแหน่งขาไถในช่วงเวลาขณะใดขณะหนึ่ง

X_0 : ตำแหน่งขาไถเริ่มตัดดินส่วนที่ยังไม่ถูกตัด

V : ความเร็วของเครื่องมือขณะใดขณะหนึ่ง

(i) อัตราส่วนแรง (force ratio) $\bar{F}$

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงในแนวระดับขณะที่ขาไถกำลังสั่น ต่อค่าเฉลี่ยของแรงในแนวระดับเมื่อขาไถไม่สั่น

(ii) Contact ratio (α)

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างช่วงระยะเวลาที่ขาไถสัมผัสดินในหนึ่งรอบการสั่นต่อช่วงระยะเวลาในการสั่นของขาไถในหนึ่งรอบการสั่น

$$\alpha = \frac{t_2 - t_1}{T}$$

โดย

t_2 : ระยะเวลาที่ขาไถเคลื่อนที่ออกจากดินส่วนที่ถูกตัดไปแล้ว

t_1 : ระยะเวลาที่ขาไถสัมผัสดินที่ยังไม่ถูกตัด

T : ช่วงระยะเวลาหนึ่งรอบการสั่นของขาไถ

Smith และคณะ [5] แสดงให้เห็นว่าจากผลการสั่นของขาไถที่เกิดขึ้น ค่าแตกต่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร็วมืดเมื่อเครื่องมือทำงานในลักษณะสั่นและไม่สั่นเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวิบัติดิน (soil failure) ผลที่เกิดขึ้นจะแสดงในสมการโดยเพิ่มค่า F'_0 และ K' สัมพันธ์กับค่า F_0 และ K

$$F = F_0 + F'_0 + (K + K') V \quad (2)$$

$$\hat{F} = \frac{(F_0 + F'_0)\alpha + (K + K')V_0}{F_0 + KV_0} \quad (3)$$

โดย

V_0 : ความเร็วชุดโครงติดเครื่องมือ

2) แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Yow และ Smith [6]

ขณะที่ชุดโครงติดเครื่องมือ (tool carrier) กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_0 ขณะเดียวกันเครื่องมือไบนิตแบบกำลังทำงานในลักษณะ sinusoidal ในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของชุดโครงติดเครื่องมือ สมมติว่าระยะทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับศูนย์ที่เวลา $t = 0$ ค่าความเร็วผลลัพธ์ของเครื่องมือที่กำลังเคลื่อนที่มีค่าดังนี้

$$\dot{X}(t) = V_0 (1 + \lambda \sin \omega t) \quad (4)$$

โดย

t : เวลา, s

V_0 : ความเร็วชุดโครงติดเครื่องมือ, cm/s

$\omega = 2\pi f$

: ความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ (angular frequency), rad/s

f : ความถี่การสั่นของเครื่องมือ (oscillating frequency), Hz

$\lambda = V_m / V_0$

: อัตราส่วนความเร็ว (velocity ratio)

$V_m = 2\pi f R$

V_m : ความเร็วในการสั่นของเครื่องมือ (velocity amplitude), cm/s

R : ระยะสั่นของเครื่องมือ

(displacement amplitude), cm

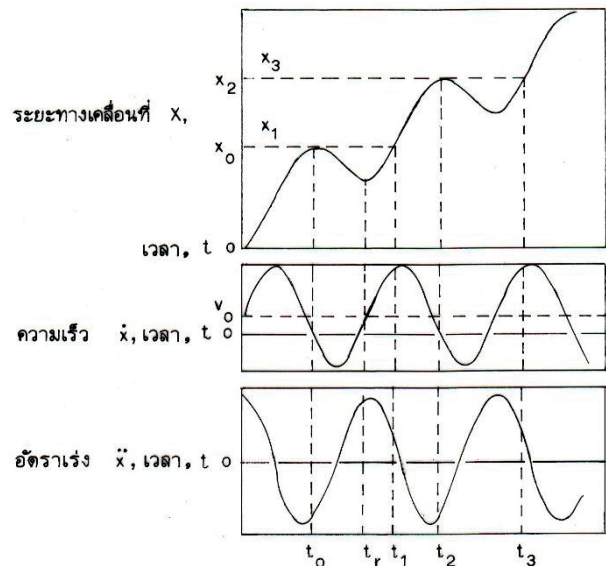
ระยะทางที่เครื่องมือเคลื่อนที่และค่าอัตราเร่งในการเคลื่อนที่ของเครื่องมือหาได้โดยวิธีหาปริพันธ์ และดิฟเฟอเรนเชียลสมการข้างต้นได้

$$X(t) = V_0 \left[t + \frac{\lambda}{\omega} (1 - \cos \omega t) \right] \quad (5)$$

$$\ddot{X}(t) = \lambda V_0 \omega \cos \omega t \quad (6)$$

สมมติว่าขั้นตอนขณะที่เครื่องมือกระทำตอดินมี 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนขณะที่เครื่องมือกำลังตัดดินส่วนที่ถูกตัดก่อนหน้านี้ ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนขณะที่เครื่องมือกำลังตัดดินส่วนที่ยังไม่ถูกตัด และขั้นตอนที่สามเป็นขั้นตอนขณะที่เครื่องมือเคลื่อนที่ถอยกลับ เมื่อเครื่องมือเคลื่อนที่ถอยกลับจากตำแหน่ง t_0 จนถึง t_r (รูปที่ 1) หลังจากนั้นก็เคลื่อนที่ไปข้างหน้าจาก

ตำแหน่ง t_r จนถึง t_1 ซึ่งเป็นขบวนการที่เครื่องมือตัดดินส่วนที่ถูกตัดไปก่อนหน้านี้แล้ว จากตำแหน่ง t_1 ถึง t_2 เครื่องมือเคลื่อนที่ตัดดินส่วนที่ไม่ถูกตัดมาก่อน ที่ตำแหน่ง t_2 เครื่องมือหยุดเคลื่อนที่และเริ่มเคลื่อนที่ถอยกลับซึ่งเป็นการสิ้นสุดการทำงานของเครื่องมือใน 1 รอบการสั่น ค่าความแตกต่างระหว่างเวลา t_2 และ t_0 เป็นช่วงระยะเวลา 1 รอบการสั่นของเครื่องมือ



รูปที่ 1 ระยะทางเครื่องมือเคลื่อนที่ ความเร็ว และอัตราเร่ง Yow และ Smith [6]

(i) เครื่องมือไม่สั่นขณะทำงาน

สำหรับเครื่องมือไม่สั่นขณะทำงาน ค่าแรงฉุดลากในแนวระดับ (draft, F) มีค่าตามฟังก์ชันของค่าความเร็ว แรงฉุดลากในแนวระดับมีค่าดังนี้

$$F = F_0 + C \dot{X} \quad \text{กรณี } \dot{X} > X_0 \quad (7)$$

โดย

F_0 : แรงกระทำกับเครื่องมือเมื่อความเร็วของเครื่องมือเท่ากับศูนย์

C : ค่าความชันของเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อเครื่องมือและความเร็วของเครื่องมือ

$\dot{X}$: ค่าความเร็วผลลัพธ์ของเครื่องมือ

(ii) เครื่องมือสั่นขณะทำงาน

กรณีเครื่องมือสั่นขณะทำงาน แรงกระทำมีค่าดังนี้

$$F_1(t) = M_t \ddot{X} \quad \text{กรณี } t_0 < t < t_r$$

$$F_2(t) = M_t \ddot{X} + C_1 \dot{X} \quad \text{กรณี } t_r < t < t_1$$

$$F_3(t) = F_0 + C \dot{X} + M_t \ddot{X} \quad \text{กรณี } t_1 < t < t_2 \quad (8)$$

โดย

- M_t : มวลของเครื่องมือ
 F_o : แรงกระทำต่อเครื่องมือขณะความเร็วของเครื่องมือเท่ากับศูนย์
 C : ค่าความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร็ว
 C_1 : ค่า damping constant ในขณะที่เครื่องมือดันดินที่ถูกตัดไปแล้ว
 $\dot{X}$: ค่าความเร็วผลลัพธ์ของเครื่องมือ
 $\ddot{X}$: ค่าอัตราเร่งรวมของเครื่องมือ

(iii) ค่าแรงเฉลี่ยและค่าอัตราส่วนของแรง
ค่าเฉลี่ยของแรงถูกกำหนดให้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$F_{avg} = [F_o \alpha + C V_o] + C_1 V_o \left[\frac{t_1 - t_r}{T} - \frac{\lambda}{2\pi} (\cos \omega t_1 - \cos \omega t_r) \right] \quad (9)$$

โดย

V_o : ความเร็วชุดโครงติดเครื่องมือ

ค่าที่แสดงในวงเล็บแรกของการสมการ (9) แทนค่าเฉลี่ยของแรงขณะที่เครื่องมือตัดดินแข็ง ส่วนค่าที่เหลือแสดงค่าเฉลี่ยของแรงขณะที่เครื่องมือกระทำต่อดินส่วนที่ถูกตัดไปก่อนหน้านี้แล้ว

ถ้าค่า contact ratio (α) มีค่ามาก เครื่องมือจะใช้เวลาส่วนใหญ่เพื่อตัดดินส่วนที่ยังไม่ถูกตัด ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแรงขณะที่เครื่องมือกระทำกับดินส่วนที่ถูกตัดไปแล้วจึงไม่ใช่ค่าที่มีความสำคัญ นั่นคือค่าเฉลี่ยของแรงที่กระทำกับเครื่องมือจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า α ในทางกลับกันเมื่อค่า α มีค่าน้อย ดังนั้นแรงส่วนที่ใช้เพื่อออกแรงดันดินส่วนที่ถูกตัดไปแล้วจะมีค่ามาก และแรงรวมผลลัพธ์จะเพิ่มขึ้นตามค่า α ที่ลดลง อาจจะมีค่าแรงต่ำสุดค่าใดค่าหนึ่งเฉพาะค่า α ค่าหนึ่ง

สำหรับกรณีเครื่องมือไม่สั่น ค่าแรงเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกันคือ

$$F_{avg} = F_o + C V_o \quad (10)$$

ค่าอัตราส่วนแรง $\hat{F}$ ถูกกำหนดให้ตามค่าอัตราส่วนของค่าแรงที่กระทำกับเครื่องมือขณะเครื่องมือกำลังสั่น ต่อค่าแรงที่กระทำกับเครื่องมือขณะที่เครื่องมือไม่สั่น

$$\hat{F} = \frac{F_o \alpha + C V_o + C_1 V_o \left[\frac{t_1 - t_r}{T} - \frac{\lambda}{2\pi} (\cos \omega t_1 - \cos \omega t_r) \right]}{F_o + C V_o} \quad (11)$$

3. การศึกษาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น (vibrating subsoiler) และเครื่องมือชนิดสั่น (vibrating tool)

นักวิจัยหลายท่านศึกษาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นในแปลงทดลอง นอกจากนี้มีการศึกษาเครื่องมือชนิดสั่นในกระบะดิน (soil bin) ทั้งนี้จุดมุ่งหมายเพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับ กำลังที่ต้องการ (power requirement) ลักษณะการวิบัติดิน และการลดลงของแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับ

Gunn และ Tramontini [7] ศึกษาการทำงานของเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่นในแปลงดินแห้งและแข็ง (dry and hard soil) ทิศทางสั่นของขาไถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังกลับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประโยชน์จากการสั่นของขาไถคือลดแรงฉุดลากในแนวระดับและมีผลทำให้ดินแตกตัวมากกว่าเงื่อนไขที่เครื่องมือไม่สั่น ขณะที่ค่าอัตราส่วนความเร็ว (λ) เท่ากับ 1.4 แรงฉุดลากในแนวระดับลดลงประมาณ 55% ค่าพลังงานสูงสุดถูกส่งผ่านไปดิน

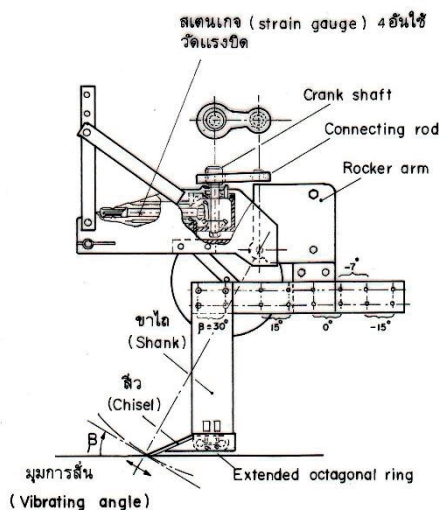
Eggenmuller [8] สรุปผลการศึกษาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการว่า การลดลงของค่าแรงฉุดลากในแนวระดับที่เกิดจากเครื่องมือไถดินชนิดสั่น (vibrating tillage tool) จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องมือทำงานในกระบวนการตัดดิน (soil cutting) และกระบวนการยกดิน (soil lifting) ถูกแยกออกจากกัน ทั้งนี้เพื่อลดแรงเสียดทานจากผิวเครื่องมือกับดิน (soil – metal friction) ให้มีค่าต่ำลง และมีผลทำให้แรงฉุดลากในแนวระดับลดลง 75% ผลอีกด้านหนึ่งคือดินมีการแตกตัวที่ดีและผสมคลุกเคล้ากันได้ดียิ่งขึ้น

Hendrick และ Buchele [9] ศึกษาการลดลงของแรงฉุดลากในแนวระดับที่เกิดจากเครื่องมือชนิดสั่นในกระบะดิน ดินที่ใช้เป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดลงของแรงฉุดลากในแนวระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความถี่การสั่นจนถึงความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ของระนาบการเหือนดินที่เกิดขึ้น เมื่อความถี่การสั่นสูงกว่าค่าความถี่ธรรมชาติ แรงฉุดลากในแนวระดับจะค่อยๆ ลดลง

Sharma และคณะ [10] ศึกษาผลจากการสั่นของเครื่องมือ (vibrating of the tool) ทำงานที่ความถี่สูง ซึ่งมีผลต่อแรงเสียดทานระหว่างดินกับผิวเครื่องมือ ลักษณะการสั่นของเครื่องมือมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบผิวดิน การลดลงของแรงเสียดทานระหว่างดินกับผิวเครื่องมือขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนความเร็วการสั่นไถ (slipping velocity) บนพื้นที่ผิวสัมผัสกับความเร็วการสั่น การลดลงของแรงเสียดทานมีค่ามากเมื่อค่าอัตราส่วนความเร็วการสั่นไถบนพื้นที่ผิวสัมผัสกับความเร็วการสั่นมีค่าต่ำ

Butson และ MacIntyre [11] ทำการทดลองในกระบะดิน ชนิดดินร่วน (loam) เครื่องมือที่ใช้ทดลองเป็นใบมีดตัดดิน การสั่นของเครื่องมือลักษณะ sinusoidal ค่าความถี่การสั่นเพิ่มถึง 50 Hz ช่วงกว้างการสั่นเพิ่มถึง 8 mm ความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ 0.15 m/s และ 0.55 m/s ผลการทดลองพบว่า ค่าแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับไม่ลดลงเมื่ออัตราส่วนความเร็วมีค่าน้อยกว่า 1 เมื่ออัตราส่วนความเร็วมากกว่า 1 ค่าแรงฉุดลากในแนวระดับลดลงมากกว่า 50 %

Sakai และคณะ [12] จำแนกเครื่องมือไถดินตามลักษณะมุมการตัดดิน β ของปลายผาลไถ 4 แบบ คือ ผาลตัดดินเคลื่อนที่ไปด้านหน้าและด้านหลังในแนวระดับ ($\beta = 0^\circ$) ผาลตัดดินเคลื่อนที่ขึ้นและลง ($\beta = -90^\circ$) ลักษณะผสมคือผาลตัดดินเคลื่อนที่ไปด้านหลังและด้านหน้า ขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ขึ้นและลง ($\beta > 0^\circ$) และการเคลื่อนที่ลักษณะผสมคือผาลตัดดินเคลื่อนที่ไปด้านหลังและด้านหน้า ขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่ขึ้นและลง ($\beta < 0^\circ$) ทำการทดลองในกระบะดิน มุมตัดดินของใบมีดเปลี่ยนแปลง คือ $-7^\circ, -15^\circ, 0^\circ$ และ 30° ทำโดยเปลี่ยนตำแหน่งขาไถ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับ (draft ratio) มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราส่วนความเร็ว (velocity ratio, λ) และลดลงตามการเพิ่มขึ้นของค่าความถี่การสั่นที่เพิ่มมากขึ้น ค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากในแนวระดับมีค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งมุมการตัดดินของใบมีด 30°

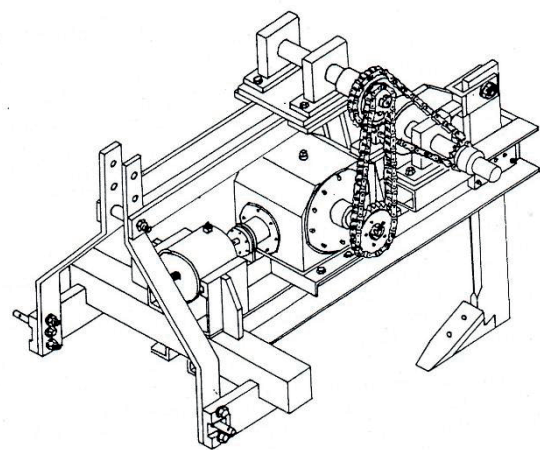


รูปที่ 2 เครื่องมือไถดินตามชนิดสั่นของ Sakai และคณะ [12]

Sakai และคณะ [13] หาพารามิเตอร์เพื่อใช้ออกแบบที่มีความเหมาะสมที่สุดของเครื่องมือไถดินตามชนิดสั่นแบบขาเดียว โดยทำการทดสอบเครื่องมือในกระบะดินในร่ม (indoor soil bin) ชนิดดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) ช่วงความกว้างการสั่นเปลี่ยนแปลงในช่วง 8.2, 15.9, 24.9 และ 35.0 mm ทั้งนี้โดยการเลือกใช้เพลาคือเหล็กต่าง ๆ กัน ความถี่การสั่นเปลี่ยนแปลง

ในช่วง 3.8 – 18.0 Hz ทำโดยเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหมุนเพลาลำดับกำลัง มุมตัดดินของปลายผาลคือ $-15^\circ, 0^\circ$ และ 30° ทำโดยการเปลี่ยนตำแหน่งขาไถ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่มุม $\beta = 30^\circ$ ค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากในแนวระดับ และอัตราส่วนกำลังรวม (total power ratio) มีค่าลดลงภายใต้ค่าอัตราส่วนความเร็วที่เท่ากัน ที่ค่าช่วงกว้างการสั่นที่สูงกว่าหรือความถี่การสั่นที่ต่ำกว่า เขาแนะนำว่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือไถดินตามชนิดสั่นแบบขาเดียว ความถี่การสั่นไม่ควรต่ำกว่า 6 Hz ช่วงกว้างการสั่นไม่ควรมากกว่า 35 mm และมุมตัดดินของปลายผาลไถ (β) เท่ากับ 30°

Bandalan และคณะ [14] ศึกษาเครื่องมือไถดินตามชนิดสั่นขาเดียว ทำการทดลองในแปลงดินเหนียว (clay) ผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากในแนวระดับ ลดลงอย่างรวดเร็วตามค่าอัตราส่วนความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งค่าอัตราส่วนความเร็วมีค่ามากกว่า 2.25 ค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากในแนวระดับจะลดลงอย่างช้าๆ ค่าอัตราส่วนกำลังลดลงในขณะที่ความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันค่าอัตราส่วนกำลังเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความถี่การสั่นที่เพิ่มมากขึ้น และจากเงื่อนไขการทดลองในแปลง การทำงานที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากค่าพลังงานที่ต้องการใช้คือ ช่วงความกว้างการสั่น 36.5 mm ความถี่การสั่น 9.48 Hz และความเร็วรถแทรกเตอร์ 2.20 km/h (0.61m/s) ทั้งนี้การทำงานที่เงื่อนไขนี้ค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากในแนวระดับมีค่า 0.33 และค่าอัตราส่วนกำลังเท่ากับ 1.24



รูปที่ 3 เครื่องมือไถดินตามชนิดสั่นของ Bandalan และคณะ [14]

Niyamapa และ Salokhe [15] ศึกษาแรงที่เครื่องมือกระทำต่อดินและการแพร่กระจายความดัน (pressure) ที่เกิดจากดิน กระทำบนผิวเครื่องมือไถดินชนิดสั่น การทดลองทำในกระบะดินชนิดดินร่วนปนทราย เครื่องมือทำงานสั่นลักษณะ sinusoidal ความถี่การสั่น 4.5 – 15.6 Hz และช่วงกว้างการสั่น 11 – 26 mm (เครื่องมือสั่นแต่ไม่เคลื่อนที่) ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะดิน 0.05 – 0.224 m/s ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแรงที่เครื่องมือกระทำต่อดินในแนวระดับและแรงในแนวตั้งลดลงเมื่อ

เพิ่มความถี่การสั่นมากขึ้น ความดันตั้งฉากสูงสุด (peak normal pressure) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มช่วงกว้างการสั่นและความถี่การสั่น นอกจากนี้ค่าความดันตั้งฉากสูงสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะดินที่เพิ่มมากขึ้น ที่เงื่อนไขของเครื่องมือกำลังสั่น ค่าเฉลี่ยความดันตั้งฉากที่ดินกระทำต่อเครื่องมือมีค่าต่ำกว่ากรณีเครื่องมือไม่สั่นขณะทำงาน

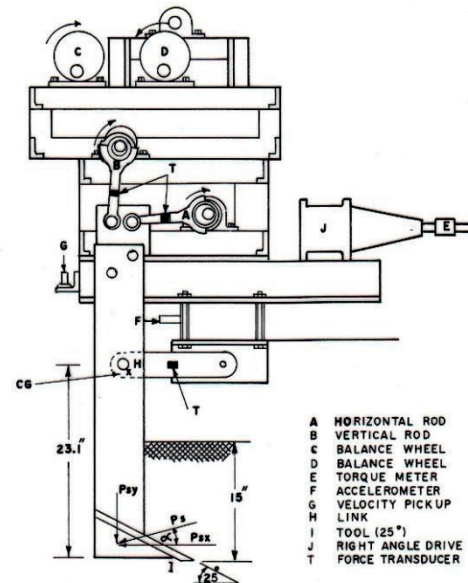
Niyamapa และ Salokhe [16] ทดลองเครื่องมือไถดิน ลักษณะขาคูรูปโค้งมีผลไถรูปตัววี ทำการทดลองในแปลงดินร่วนปนทราย เงื่อนไขความถี่การสั่น 8.7 – 13.9 Hz ช่วงกว้างการสั่น 59 และ 77 mm รถแทรกเตอร์ทำงานความเร็ว 0.33 – 0.85 m/s ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับเปรียบเทียบกับขณะเครื่องมือสั่นและไม่สั่นมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วง 0.63 – 0.93 นั่นคือแรงฉุดลากในแนวระดับลดลง 7 – 37% ขณะเครื่องมือสั่น แรงฉุดลากในแนวระดับขณะเครื่องมือสั่นมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วรถแทรกเตอร์ 0.32 – 0.7 m/s และค่าลดลงเมื่อความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มสูงขึ้น การลดลงของค่าแรงฉุดลากในแนวระดับที่ความเร็วรถแทรกเตอร์มีค่าสูง อาจเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเพิ่มค่าความดันในช่องว่าง (pore pressure) ระหว่างอนุภาคดินเมื่อความเค้นกระทำที่ความเร็วการให้ไหลสูงมาก การเพิ่มค่าความดันในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน มีผลทำให้ค่าความเค้นผลลัพท์ (the effective stress) มีค่าลดลง ขณะที่ความเค้นผลลัพท์มีค่าต่ำ จะทำให้ความแข็งแรงเฉือน (shear strength) ดินมีค่าต่ำลงด้วย ส่วนค่ากำลังรวมที่ต้องการในการทำงานลักษณะสั่นมีค่าสูงกว่าเมื่อเครื่องมือไม่สั่นประมาณ 41 – 45%

4. การพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสัน

ประโยชน์ที่สำคัญของเครื่องมือไถดินดานชนิดสันเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือไถดินดานธรรมดาซึ่งเป็นชนิดไม่สัน คือ การลดลงของแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับ แต่อย่างไรก็ตามกำลังรวมที่ใช้ (total power requirement) และการสิ้นเปลืองของน้ำมันเชื้อเพลิงรถแทรกเตอร์จะเพิ่มมากขึ้น [17] มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบเครื่องมือไถดินดานชนิดสันเพื่อลดแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับและศึกษากำลังที่ต้องการใช้

Totten และ Kaufman [18] ศึกษาผลจากการสั่นของเครื่องมือไถดินดาน เครื่องมือสามารถลดแรงฉุดลากในแนวระดับเมื่อทดลองในแปลงดินร่วนปนทรายแฉะและดินเหนียว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การสั่นของเครื่องมือในแนวระดับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงช่วงแอมพลิจูด (amplitude) ของค่าแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับมีค่าเท่ากันหรือสูงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือไม่สั่น สำหรับการสั่นของเครื่องมือในแนวตั้ง การลดลงของแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับมีค่าสูง

กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแรงฉุดลากกรณีเครื่องมือสั่นในแนวระดับ และการเปลี่ยนแปลงช่วงแอมพลิจูดค่าแรงฉุดลากในแนวระดับมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขณะเครื่องมือไม่สั่น



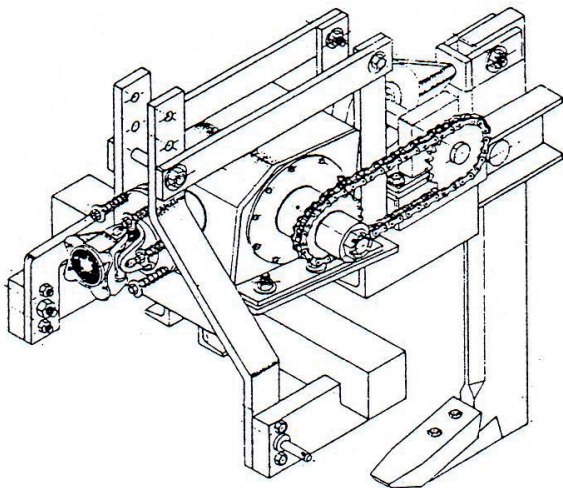
รูปที่ 4 เครื่องมือไถดินดานชนิดสันของ Totten และ Kaufman [18]

Wolf และ Shmuelevich [19] ศึกษาเครื่องมือไถดินดานชนิดสัน 2 แบบ ทั้งนี้ขณะทำงานเครื่องมือสันรูปแบบแตกต่างกัน การทดลองทำในแปลงดินเหนียวมาก (heavy clay soil) และลักษณะดินจับตัวเป็นก้อนขนาดปานกลาง (moderate clod-forming soil) เป็นดินแข็ง แห้ง และถูกบดอัดมาก สภาพความชื้นดินผิวชั้นบนมีค่าระดับ hygroscopic point เครื่องมือไถดินดานแบบ A สันในระนาบแนวตั้งทิศทางขวาง (vertical – transverse plane) โดยใช้กลไกน้ำหนักเยื้องศูนย์กลาง (eccentric weight mechanism) เครื่องมือไถดินดานแบบ B สันในระนาบแนวตั้งทิศทางตามแนวทางการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (vertical – longitudinal plane) โดยใช้เพลาลูกเบี้ยว (crank shaft) เครื่องมือไถดินดานสันทั้งสองชนิดถูกขับโดยเพลาลูกเบี้ยวกำลัง (PTO shaft) ที่ความเร็วรอบหมุน 540 rpm ความลึกการทำงาน 0.4 m และระยะช่วงกว้างระหว่างแนวรอยไถ 0.5 m เปรียบเทียบผลการทำงานกับเครื่องมือไถดินดานชนิดธรรมดา เครื่องมือไถดินดานสันชนิด A ไม่แสดงประโยชน์อะไรให้เห็นเด่นชัด แต่ขณะเดียวกันเครื่องมือไถดินดานสันชนิด B สามารถลดแรงฉุดลากในแนวระดับลงถึง 58% ที่ความเร็วการทำงาน 0.5 m/s และความถี่การสั่น 4 Hz

Sakai และคณะ [17] พัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสันแบบขาไถ 4 ขา ลักษณะการสั่นของขาไถต่างกัน 180° หรือสั่นทิศทางตรงข้ามกัน ลำดับการสั่นของขาไถ 1–3–2–4 ทั้งนี้เพื่อสมดุลแรงที่ใช้ตัดดินและโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ระยะห่างระหว่างขาไถแต่ละขา 50 cm เพลาลูกเบี้ยวกำลังของรถแทรกเตอร์ถูกขับผ่านไปยัง

ห้องเกียร์และระบบส่งกำลังโดยใช้โซ่เพื่อขับทำให้ชาไถสั่น เครื่องมือไถดินดานสันชนิด 4 ขา ดิรทรแทรกเตอร์ต้นกำลังขนาด 43 kW ทำการทดสอบในแปลง เงื่อนไขการทดลอง มุมผลัดไถตัดดิน (β) เท่ากับ 30° ความเร็วรอบหมุนเพลาลำนำกำลัง 540 rpm ความถี่การสั่นของชาไถ 3.4 Hz ช่วงกว้างการสั่น 50 mm ความลึกการทำงาน 40 cm และความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 0.145 – 0.238 m/s จากผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องมือไถดินดานสันชนิด 4 ขา พบว่าแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับลดลงมากกว่า 60% เมื่ออัตราส่วนความเร็ว (λ) มีค่าระหว่าง 1.67 – 3.33 และค่าอัตราส่วนกำลังรวมน้อยกว่า 1.5

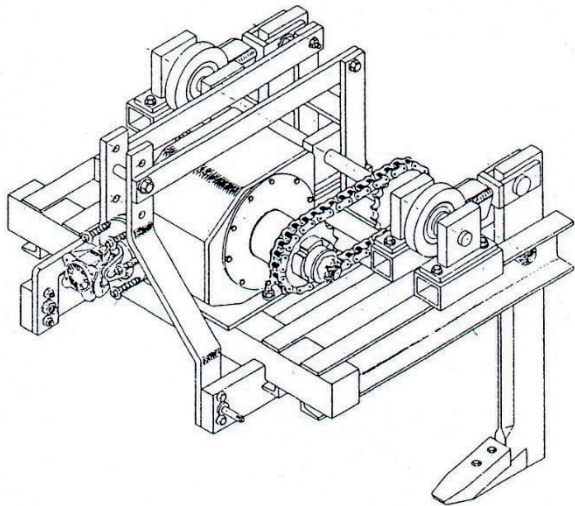
Niyamapa และคณะ [20] ประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องมือไถดินดานชนิดสันขาเดียว (รูปที่ 5) และอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง การทดลองทำในแปลงปลูกอ้อยภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 4 – 5 สัปดาห์ ดินในแปลงที่ใช้ทดลองเป็นดินเหนียว ขณะทดลองลำต้นอ้อยเริ่มแตกกอสูงประมาณ 18 cm เหนือพื้นผิวดิน แต่เป็นแปลงปลูกที่ไม่ประสงค์จะเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย 150 cm ระยะระหว่างต้นอ้อย 60 cm การทำงานของเครื่องมือสันที่ช่วงกว้างการสั่น 36 mm ความถี่การสั่น 9.4 Hz และความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 2.19 km/h (0.61 m/s) ขณะทำงานเป็นการไถแบบ head land pattern ในแปลงขนาด 30×60 m ภายหลังการทำงาน วัดความลึกและช่วงกว้างระหว่างแนวรอยไถ ได้ความลึกของรอยไถ 41 cm ช่วงกว้างระหว่างแนวรอยไถ 139 cm ความสามารถในการทำงานสนาม (effective field capacity) 0.21 ha/h ประสิทธิภาพสนาม (field efficiency) 74.2 % และอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง 17.78 liter/ha ตามลำดับ



รูปที่ 5 เครื่องมือไถดินดานชนิดสันของ Niyamapa และคณะ [20]

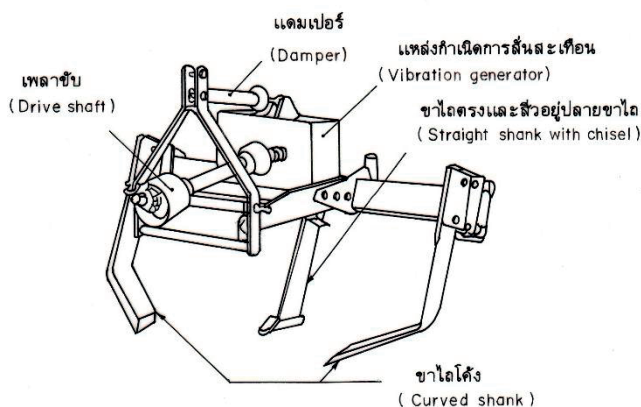
ธัญญา และ ชัยรัตน์ [21] พัฒนาเครื่องมือไถดินดานสันแบบ 2 ขา ชาไถทั้งสองสันทิศทางตรงข้ามกัน หรือสันเคลื่อนที่ต่างกัน 180 องศา (รูปที่ 6) เครื่องมือไถดินดานสัน 2 ขา ถูกทดลองในแปลงชนิดดินร่วน ดินมีความชื้น 22.2% (db) ความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.51 g/cm^3 และความต้านทานการแทรกทะลุดิน (soil penetration resistance) 111, 741, 885 และ $1,333 \text{ kPa}$ ที่ตำแหน่งความลึก 10, 20, 30 และ 40 cm ตามลำดับ ชาเครื่องมือไถดินดานสันที่ช่วงกว้างการสั่น 35 mm ความถี่การสั่น 9 Hz รถแทรกเตอร์ต้นกำลังที่ใช้เพื่อฉุดลากเครื่องมือขนาดกำลัง 60 kW ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ขณะทำงาน 0.58 – 1.58 m/s เมื่อเครื่องมือไม่สั่นขณะทำงานความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 0.61 – 1.56 m/s เมื่อเครื่องมือสั่นขณะทำงานความลึกการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 27.6 cm และเครื่องมือไม่สั่นขณะทำงานค่าความลึกเฉลี่ย 24.9 cm พื้นที่ที่ดินถูกรบกวน (soil disturbed area) ในสภาพเครื่องมือไม่สั่นและสั่นมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ไปข้างหน้า ขณะเครื่องมือสั่น พื้นที่ที่ดินถูกรบกวนมีค่าสูงกว่าขณะเครื่องมือไม่สั่น

Niyamapa และคณะ [22] ศึกษาพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของดินผลเนื่องจากเครื่องมือไถดินดานชนิดสันแบบขาเดียวและแบบ 2 ขา ทำการทดลองในแปลงปลูกอ้อยชนิดดินร่วน ความชื้นดิน 19.6% (db) ความต้านทานการแทรกทะลุดิน $1,075 \text{ kPa}$ และความหนาแน่นดินสภาพแห้ง 1.52 g/cm^3 เครื่องมือไถดินดานขาเดียวทำงานสันที่ช่วงกว้างการสั่น 36 mm ความถี่การสั่น 9.5 Hz และความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 1.79 , 2.62 และ 4.64 km/h (0.50, 0.73 และ 1.29 m/s) ผลจากการทดลองค่าเฉลี่ยแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับกรณีเครื่องมือสั่นมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเครื่องมือไม่สั่น เมื่อรถแทรกเตอร์ทำงานความเร็ว 1.79 km/h (0.50 m/s) และ 2.62 km/h (0.73 m/s) และทดสอบเครื่องมือไถดินดานชนิดสันแบบ 2 ขา ช่วงความกว้างการสั่น 35 mm ความถี่การสั่น 9 Hz และความเร็วของรถแทรกเตอร์ 1.65 , 2.27 และ 3.51 km/h (0.49, 0.63 และ 0.98 m/s) ผลจากการทดลองค่าแรงฉุดลากเครื่องมือในแนวระดับมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของชาไถทั้งสองในทิศทางตรงข้ามกัน



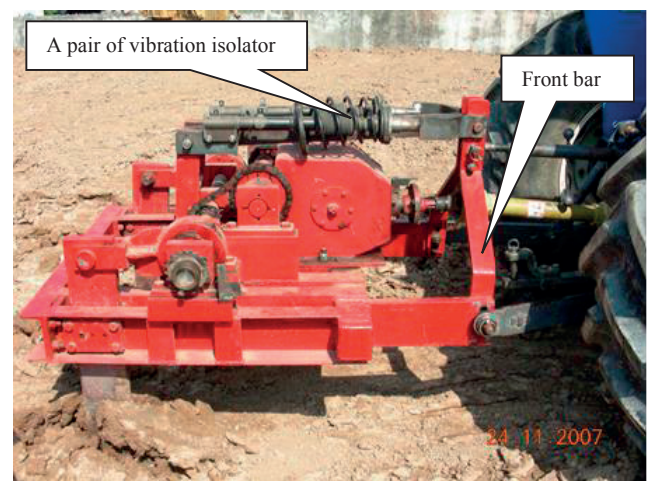
รูปที่ 6 เครื่องมือไถดินดานชนิดสันแบบ 2 ขา ของ ธัญญา และ ชัยรัตน์ [21]

Tanaka และคณะ [23] ศึกษาสมรรถนะการทำงานของเครื่องมือไถดินดานสันแบบหน้ากว้าง (wide vibratory subsoiler) การทดลองทำในแปลงดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) เครื่องมือประกอบด้วยขาไถด้านข้างลักษณะรูปร่างโค้ง 2 ขา และขาไถตรงหนึ่งขาคู่ตำแหน่งกึ่งกลาง ความลึกการทำงานค่าสูงสุด 0.5 m และความกว้างการทำงานเท่ากับ 1.6 m การทดลองถูกทำที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ 0.13 m/s และความถี่การสั่น 13 Hz ในระหว่างการสั่นของเครื่องมือ พบว่าดินถูกยกตัวขึ้นเหนือผิวหน้าดิน 3 – 5 cm แรงในแนวระดับและแรงในแนวตั้งของขาไถรูปร่างโค้งมีค่าสูงมากกว่าขาไถรูปร่างตรง ค่าอัตราส่วนแรงในแนวระดับต่อแรงในแนวตั้ง สำหรับขาไถด้านซ้ายมือเท่ากับ 100 : 87 ขาไถด้านขวามือเท่ากับ 100 : 85 และขาไถตรงกลางเท่ากับ 100 : 33



รูปที่ 7 เครื่องมือไถดินดานชนิดสันแบบหน้ากว้าง (wide vibratory subsoiler) ของ Tanaka และคณะ [23]

Karoonboonyanan [24] ปรับปรุงและประเมินผลเครื่องมือไถดินดานชนิดสัน 2 ขาสันทิศทางตรงข้ามกัน การปรับปรุงทำโดยติดตั้งอุปกรณ์ gas – damping coil spring vibration isolators ที่โครงเครื่องมือ ทั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดการสั่นที่ส่งผ่านจากเครื่องมือไปยังที่นั่งคนขับ ภายหลังการปรับปรุง การสั่นของเครื่องมือสามารถลดลง คนขับรถแทรกเตอร์รู้สึกสบายในการทำงาน การสั่นในทิศทางแนวขวางลดลง 87% การสั่นตำแหน่งที่นั่งคนขับในทิศทางแนวขวางและทิศทางแนวตั้งอยู่ภายในช่วง $8 - h_{fdp}$ ทั้งกรณีเครื่องมือทำงานเงื่อนไขขณะสันและไมสัน ขณะรถแทรกเตอร์ทำงานที่ความเร็ว 2.1 และ 2.8 km/h (0.58 และ 0.78 m/s) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือยังไม่ได้ปรับปรุง การสั่นในทิศทางแนวขวางอยู่ในช่วง $2.5 - h_{fdp}$ นอกจากนี้ผลจากการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ถูกปรับปรุงแล้วขณะทำงานเงื่อนไขการสั่นสามารถลดแรงฉุดลากในแนวระดับ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ดินวิบัติมีค่าลดลง 56% และค่าแรงฉุดลากในแนวระดับต่อหนึ่งหน่วยความลึกการทำงานมีค่าลดลง 18% ขณะที่ค่าความต้องการกำลังรวมต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ดินวิบัติมีค่าลดลง 57% และความต้องการกำลังรวมต่อหนึ่งหน่วยความลึกการทำงานมีค่าลดลง 21% ขณะเครื่องมือทำงานที่ความเร็ว 2.8 km/h (0.78m/s)

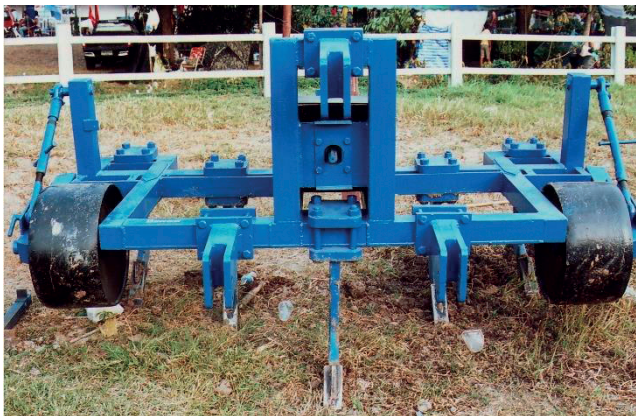


รูปที่ 8. เครื่องมือไถดินดานชนิดสัน 2 ขา ปรับปรุงโดย Karoonboonyanan [24]

5. การใช้เครื่องมือไถดินดานชนิดสันในประเทศไทย

กิตติคุณ และคณะ [25] กล่าวว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ทราบถึงปัญหาการเกิดชั้นดินดาน (hardpan) ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตอ้อย เกษตรกรรายใหญ่มักจะใช้ไถดินดาน 3 – 5 ปีต่อครั้ง ในประเทศไทยเกษตรกรคุ้นเคยกับการใช้ไถดินดานมาก่อน และต่อมาก็มีไถดินดานชนิดสันทั้งโครง (shakerator) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจำหน่ายโดย 2 บริษัทในประเทศไทย ทำเลียนแบบจากผลิตภัณฑ์ของต่างประเทศ ที่มีจำหน่าย มีทั้งชนิด 3 ขา และ

5 ขา แต่การใช้งานก็ยังไม่แพร่หลายมาก คงเป็นเพียงเกษตรกรรายใหญ่ รูปที่ 9 แสดงไถดินดานชนิดสันทั้งโครง 5 ขา ชุดขาไถยึดติดกับโครงและชุดลูกเบี้ยวยึดติดกับเพลลา ซึ่งได้รับกำลังขับเคลื่อนจากเพลลาอำนาจกำลังของรถแทรกเตอร์ กิตติคุณ และคณะ [25] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไถดินดานชนิดสันทั้งโครงสร้าง เป็นชุดไถที่ประกอบด้วยขาไถ 3 ขา ยึดติดกับโครงและชุดลูกเบี้ยวยึดติดกับเพลลา รถแทรกเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังขนาด 87 hp (64.9kW) ทำการทดลองในแปลงดินร่วนเหนียวปนทราย ความชื้นดิน 12.32% (db) ความหนาแน่นดินสภาพแห้งเฉลี่ย 1.62 g/cm^3 ค่าความต้านทานการแทงทะลุดิน 2.5 MPa ค่าความเร็วการเคลื่อนที่ 3 ระดับ (1.39, 2.09 และ 3.43 km/h หรือ 0.39, 0.58 และ 0.95 m/s) ความถี่ในการสั่น 4 ระดับ (0, 9, 11 และ 13 Hz) และความกว้างในการสั่น 2 ระดับ ($y = 6.165 \text{ mm}$ และ $z = 5.465 \text{ mm}$) และ ($y = 10.065 \text{ mm}$ และ $z = 8.127 \text{ mm}$) เมื่อ y หมายถึงทิศทางแนวขวาง การเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ และ z หมายถึงทิศทางแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ การทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับแบบไม่สั่น พบว่าการสั่นสามารถลดแรงฉุดลากมากที่สุด 19.26% และเมื่อสั่นที่ความถี่ 13 Hz จะเพิ่มพื้นที่การแตกของดิน 28.8%



รูปที่ 9 เครื่องมือชนิดสันทั้งโครง (shakerator)

6. ผลลัพธ์จากการทบทวนวรรณกรรมและวิจารณ์

จากการศึกษาออกแบบและพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสันมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดแรงฉุดลากในแนวระดับ ลดกำลังฉุดลากเครื่องมือ (drawbar power) ขณะเดียวกันก็ใช้ประโยชน์กำลังขับเคลื่อนจากเพลลาอำนาจกำลัง (PTO power) และผลตามมาที่สำคัญก็คือ ดินที่ได้จากการไถมีการแตกตัวมากขึ้น หรือค่าความหนาแน่นรวมสภาพแห้งของดินหลังการไถพรุนลดลงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการไถ จากการศึกษาของ Niyamapa และ Salokhe [16] ทดลองเครื่องมือไถสันลักษณะขาไถรูปโค้ง มีผลไถรูปตัววี ทำการทดลองในแปลงดินร่วนปนทราย เจริญไขความถี่การสั่น 8.7 – 13.9 Hz ช่วงกว้างการสั่น 59 และ 77 mm รถแทรกเตอร์ทำงานความเร็ว 0.33 – 0.85 m/s ผลจากการทดลอง

พบว่า ค่าที่แสดงการแตกตัวของดิน หรือการหลวมตัวของดิน (soil loosening) ก็คือค่าการลดลงของความหนาแน่นรวมสภาพแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความถี่การสั่น (oscillating frequency) ของเครื่องมือ ค่าการลดลงของความหนาแน่นรวมสภาพแห้งมีค่า 5.3 – 13.8% ที่ความถี่การสั่น 8.7 Hz และเพิ่มถึง 17 - 20% เมื่อความถี่การสั่นเพิ่มเป็น 13.9 Hz และมีค่าเพียง 5% ในเงื่อนไขเมื่อเครื่องมือไม่สั่น จะสังเกตเห็นได้ว่าการแตกตัวของดินเป็นผลเนื่องมาจากความเร็วการออกแรงกระทำต่อดิน นอกจากนี้ Niyamapa และ Salokhe ยังเขียนไว้ว่า ขณะเครื่องมือสั่นแรงฉุดลากในแนวระดับมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วรถแทรกเตอร์ 0.32 – 0.7 m/s และค่าลดต่ำลงเมื่อความเร็วรถแทรกเตอร์เพิ่มสูงขึ้น และอธิบายได้ว่าการลดลงของค่าแรงฉุดลากในแนวระดับที่ความเร็วรถแทรกเตอร์มีค่าสูงอาจเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเพิ่มความดันในช่องว่าง (pore pressure) ระหว่างอนุภาคดิน (soil particles) เมื่อมีไหลดกระทำที่ความเร็วสูง นอกจากนี้มีปรากฏการณ์ที่ไหลดออกแรงกระทำต่อดินตัวอย่างรูปทรงกระบอก (soil specimen) ที่ความเร็วสูง ผลเนื่องจากการเพิ่มความดันในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินในการเกษตรกรรมสภาพแห้ง การทดลองให้ไหลดกระทำต่อดินตัวอย่างมีความเร็วไหลดกระทำ 0.35 – 6.2 m/s โดย triaxial compression tests Niyamapa[26] รายงานว่า การวิบัติดินตัวอย่างรูปทรงกระบอกเปลี่ยนจาก brittle shear ไปเป็น plastic flow ที่ความเร็วการให้ไหลดกระทำ 4.4 m/s สำหรับดินร่วนปนทราย และ 5.7 m/s กรณีดินร่วนปนทรายแฉะ สำหรับการให้ไหลดกระทำที่ความเร็วสูง ลักษณะการแตกตัวของดินก่อนเล็ก (small cracks) และลักษณะฟลูอิดไดเซชัน (fluidization) เกิดขึ้นกับตัวอย่างดิน ขณะที่ความเร็วการให้ไหลดกระทำมีค่าต่ำ การวิบัติของดินยังคงเป็นลักษณะ brittle shear จะเห็นว่าผลการทดลองในห้องปฏิบัติการกับในแปลงทดลองจะสอดคล้องกัน โดยผลการศึกษานี้ได้ถูกนำไปอ้างอิงอยู่ในหนังสือ Advances in Soil Dynamics, Volume 2 ปี 2002 หน้า 63 โดย The American Society of Agricultural Engineers เช่นเดียวกันกับผลการทดลองของ Smith และคณะ[5] ที่แสดงให้เห็นว่าจากผลการสั่นของขาไถที่เกิดขึ้น ค่าแตกต่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความถี่เมื่อเครื่องมือทำงานในลักษณะสั่นและไม่สั่น เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวิบัติดิน

7. สรุป

บทความนี้เขียนเกี่ยวกับเครื่องมือไถดินดานชนิดสัน ทั้งจากการศึกษาทางทฤษฎีที่มีนักวิจัยสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พยายามอธิบายแรงกระทำต่อเครื่องมือโดยพิจารณาจากลักษณะการวิบัติของดิน ลักษณะทางพลศาสตร์ดิน (soil dynamics) และแรงกระทำระหว่างดินกับเครื่องมือ ตลอดจนการศึกษา

เครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น (vibrating subsoiler) และเครื่องมือไถดินชนิดสั่น (vibrating tillage tool) ในกระบะดิน (soil bin) หรือแปลงทดลอง ตลอดจนการพัฒนาเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น และเครื่องมือชนิดนี้ก็มีการผลิตจำหน่ายในประเทศไทย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.A. Kepner, R. Bainer, E.L. Barger, "Principles of farm machinery" 3 rd ed. The United State of America, The AVI Publishing Company , Inc., 1982.
- [2] Edward McKyes, "Soil cutting and tillage". The Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V., 1985.
- [3] J . Sakai, "Two – wheel tractor engineering for Asian wet land farming". Tokyo, Shin – norinsha Co., Ltd., 1999.
- [4] H.M. Taylor, G.M. Roberson, J.J. Parker, "Soil strength – root penetration relations for medium to coarse – textured soil materials," Soil Sci., vol.102, pp 18 – 22, 1966.
- [5] J.L. Smith, J.L. Dais, A.M. Flikke, "Theoretical analysis of vibratory tillage," Transactions of the ASAE , vol. 15(5), pp 831 – 833, 1972.
- [6] J. Yow, J.L. Smith, "Sinusoidal vibratory tillage," Journal of Terramechanics, vol. 13 (4), pp 211 – 226, 1976.
- [7] J.T. Gunn, V.N. Tramontini, "Oscillation of tillage implements," Agricultural Engineering, vol. 36, pp 725 – 729, 1955.
- [8] A. Eggenmuller, "Oscillating tools for soil cultivation. Kinematics and testing of single tools," Grundl. Landtech, Heft 10, pp 55 – 70, 1958, NIAE transl. 228.
- [9] J.G. Hendrick, W.F. Buchele, "Tillage energy of a vibrating tillage tool," Transactions of the ASAE, vol. 6 (3), pp 213 – 216, 1963.
- [10] V.K. Sharma, L.O. Drew, G.L. Nelson, "High frequency vibrational effects on soil – metal friction," Transactions of the ASAE, vol. 20 (1), pp 46 – 51, 1977.
- [11] M.J. Butson, D. MacIntyre, "Vibrating soil cutting : I. Soil tank studies of draught and power requirements," Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 26 (5), pp 409 – 418, 1981.
- [12] K. Sakai, H. Terao, K. Matsui, "The study on the vibratory soil cutting of vibrating subsoiler (Part 1)," Journal of Japanese Society Agricultural Machinery, vol. 45 (1), pp 55 – 62, 1983.
- [13] K. Sakai, H. Terao, "The study on the vibratory soil cutting of vibrating subsoiler (Part 2)," Journal of Japanese Society Agricultural Machinery, vol. 47(1), pp 45-49, 1985.
- [14] E.P. Bandalan, V.M. Salokhe, C.P. Gupta, T. Niyamapa, "Performance of an oscillating subsoiler in breaking a hardpan," Journal of Terramechanics, vol. 36 (2), pp 117 – 125, 1999.
- [15] T. Niyamapa, V.M. Salokhe, "Force and pressure distribution under vibratory tillage tool," Journal of Terramechanics, vol. 37, pp 139 – 150, 2000.
- [16] T. Niyamapa, V.M. Salokhe, "Soil disturbance and force mechanics of vibrating tillage tool," Journal of Terramechanics, vol. 37, pp 151 – 166, 2000.
- [17] K. Sakai, S.I. Hata, M. Takai, S. Nambu, "Design parameters of four – shank vibrating subsoiler," Transactions of the ASAE, vol. 36 (1), pp 23 – 26, 1993.
- [18] D.S. Totten, L.C. Kaufman, "Dynamic response of a clay soil to an oscillating subsoiler," Transactions of the ASAE, vol. 14 (5), pp 793 – 800, 1971.
- [19] D. Wolf, I. Shmueleovich, "Vibrating subsoilers in clod – forming soils," ASAE Paper no 77 – 1010. St. Joseph, Mich, 1977.
- [20] T. Niyamapa, S.K. Roy, C. Rangdang, "Development and testing of a locally made vibratory subsoiler," In : Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference vol.1, 7 – 10 December, Bangkok, Thailand, pp 205-212, 1998.
- [21] ธีรญา นิชมาภา และ ชัยรัตน์ รางแดง, "ไถดินดานชนิดสั่น. รายงานการวิจัยและพัฒนาฉบับสมบูรณ์," MT – 34 – 06 – MAC – 11 – 07, เมษายน 2539, 123 หน้า.
- [22] T. Niyamapa, P. Laungwongwand, V.M. Salokhe, "Dynamic behaviour of a loam soil under two vibrating subsoiler," In : Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 4 – 7 December, Bangkok, Thailand, pp 79-86, 2000.
- [23] H. Tanaka, K. Inooku, Y. Nagasaki, M. Miyazaki, O. Sumikawa, A. Oida, " Measurement of soil loosening and reaction forces at subsoiling using a vibration type subsoiler," In : Proceedings of the International Agricultural Engineering Conference, 4 – 7 December, Bangkok, Thailand, pp 59-65, 2000.
- [24] R. Karoonboonyanan, "Development of a vibratory subsoiler," Unpublished Dissertation No. AE – 09 – 01, Asian Institute of Technology, Thailand, 106 pp, 2009.
- [25] กิตติคุณ ประเสริฐกาญจน์, ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ และ วันรัฐ อับดุลลาฮาซิม, " การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไถดินดานชนิดสั่นทั้งโครง," การประชุมวิชาการประจำปี 2551 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5 : 334 – 341.
- [26] T. Niyamapa, "Fundamental studied on soil failure under vibrating tillage machine (Part 2) – Soil failure during a high speed triaxial compression test," Journal of Japanese Society Agricultural Machinery, vol. 53(4), pp 21 – 30, 1991.